

# Anomalías de la visión del color

## PERCEPCIÓN VISUAL

### Tema 9

Profesora María Cinta Puell  
Grado Óptica y Optometría



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE  
MADRID

# Índice

- Clasificación anomalías de la visión del color
- Anomalías de la visión del color hereditarias
  - Dicromacia
  - Tricromacia anómala
- Características distintivas de las anomalías de la visión del color
  - Sensibilidad luminosa espectral
  - Discriminación de tono y líneas de confusión isocromáticas
  - Discriminación de saturación
- Anomalías de la visión del color adquiridas
- Test de la visión del color
  - Láminas pseudoisocromáticas
  - Test de Farnsworth
  - Anomaloscopio

# Anomalías de la visión del color

## ■ Anomalías congénitas o hereditarios

- Se transmite de forma recesiva ligada al cromosoma X
- Prevalencia:
  - 8% de los hombres
  - 0,4% de las mujeres

## ■ Anomalías adquiridas

- Secundarias a enfermedad ocular o sistémica o a drogas tóxicas (medicamentos)
- Menos prevalentes que las anomalías hereditarias
- Pueden ser una herramienta de diagnóstico importante

# Herencia de la visión del color anómala

## Transmisión de las anomalías rojo-verde

Los genes que forman los pigmentos visuales de los conos L y M están ubicados en el cromosoma X

Father Normal (XY)  
Mother Normal (XX)

	X	X
X	XX	XX
Y	XY	XY

Father Defective ( $\bar{X}Y$ )  
Mother Normal (XX)

	X	X
$\bar{X}$	$\bar{X}X$ (carrier)	$\bar{X}X$ (carrier)
Y	XY	XY

Father Normal (XY)  
Mother Defective ( $\bar{X}\bar{X}$ )

	$\bar{X}$	$\bar{X}$
X	$\bar{X}X$ (carrier)	$\bar{X}X$ (carrier)
Y	$\bar{X}Y$ (defective)	$\bar{X}Y$ (defective)

Father Defective ( $\bar{X}Y$ )  
Mother Carrier ( $\bar{X}X$ )

	$\bar{X}$	X
$\bar{X}$	$\bar{X}\bar{X}$ (defective)	$\bar{X}X$ (carrier)
Y	$\bar{X}Y$ (defective)	XY

Father Normal (XY)  
Mother Carrier ( $\bar{X}X$ )

	$\bar{X}$	X
X	$\bar{X}X$ (carrier)	XX
Y	$\bar{X}Y$ (defective)	XY

# Deficiencias de la visión del color

- **Defectos protan y deutan**
  - hereditarios
    - defectos Rojo-Verde
    - Ciego al color “daltónicos”
- **Defectos tritan**
  - adquiridos
  - defectos Azul-Amarillo

# Clasificación deficiencias visión del color

DISCROMATOPSIAS	Defectos rojo-verde		Defectos azul-amarillo
Estado del fotopigmento	Defecto Protan	Defecto Deutan	Defecto Tritan
Dicrómacia (Pérdida de pigmento)	Protanope	Deuteranope	Tritanope
Tricrómacia anómala (Déficit de pigmento)	Tricrómata protanómalo	Tricrómata deuteranómalo	Tricrómata tritanómalo

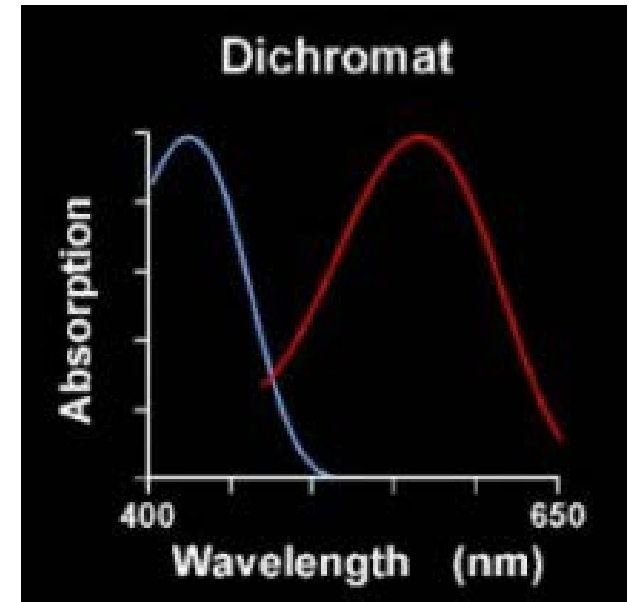
# Prevalencia de las discromatopsias

	Hombres	Mujeres
<b>Dicromacia</b>	2.4%	0.03%
Protanopía (conos L ausentes)	1.3%	0.02%
Deuteranopía (conos M ausentes)	1.2%	0.01%
Tritanopía (conos S ausentes)	0.001%	0.03%
<b>Tricromacia anómala</b>	6.3%	0.37%
Protanomalia (conos L deficit)	1.3%	0.02%
Deuteranomalia (conos M deficit)	5.0%	0.35%
Tritanomalia (conos S deficit)	0.0001%	0.0001%

# Dicromacia

## Pérdida de uno de los tres fotopigmentos

- ❑ Protanope  
pérdida de eritrolabe (conos L)
- ❑ Deuteranope  
pérdida de clorolabe (conos M)
- ❑ Tritanope  
pérdida de cianolabe (conos S)



Deuteranope

El fotopigmento que falta se reemplaza por un fotopigmento restante  
**"Modelo de sustitución o reemplazo"**

- En la deuteranopía, el clorolabe se sustituye por eritrolabe.
- En la protanopía, el eritrolabe se reemplaza por clorolabe

Dicrómatas:

- Solo necesitan dos colores para igualar cualquier otro
- Ven una gama de colores muy reducida.



# Dicromacia

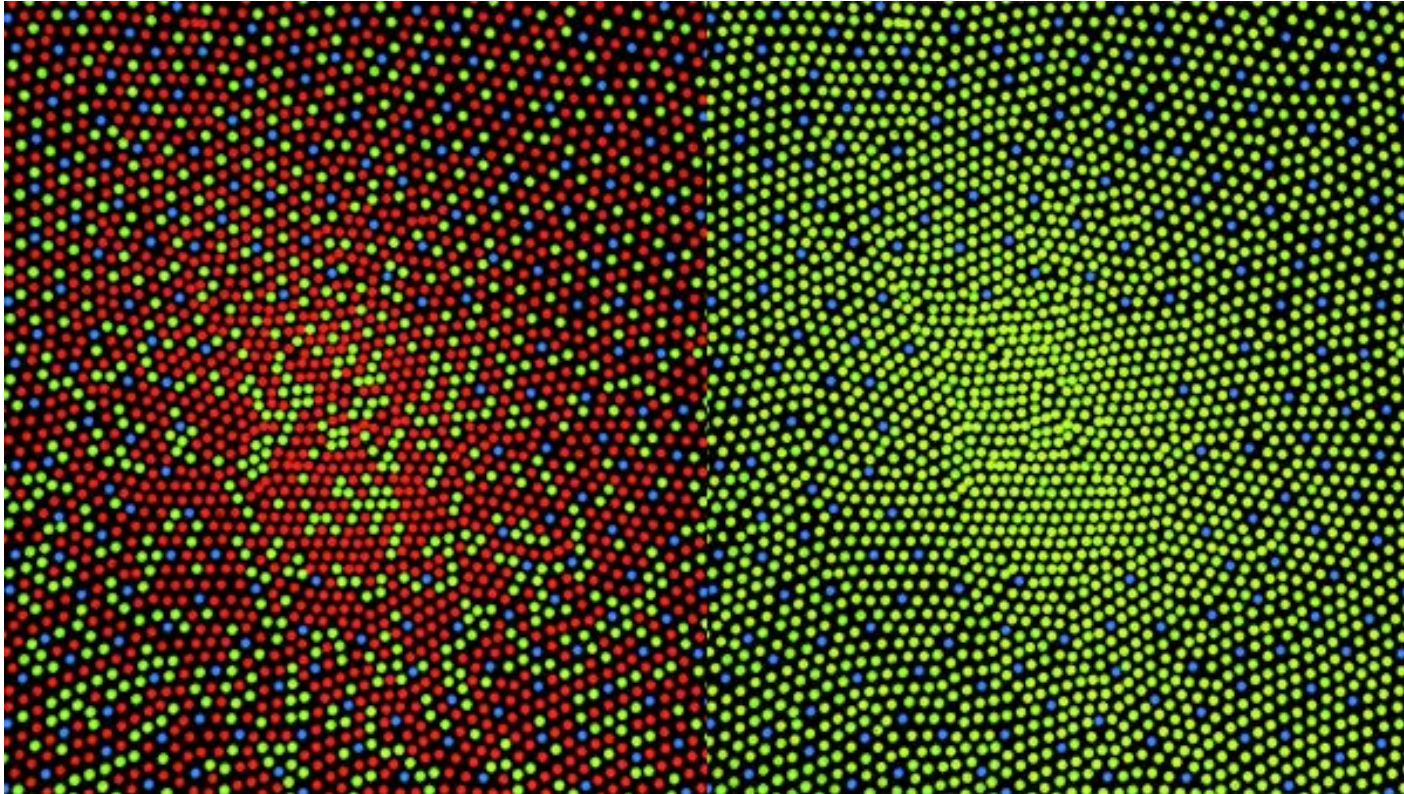


Ilustración de la distribución de los conos en la fóvea de un individuo con visión del color normal (izquierda) y otro protanope (derecha).

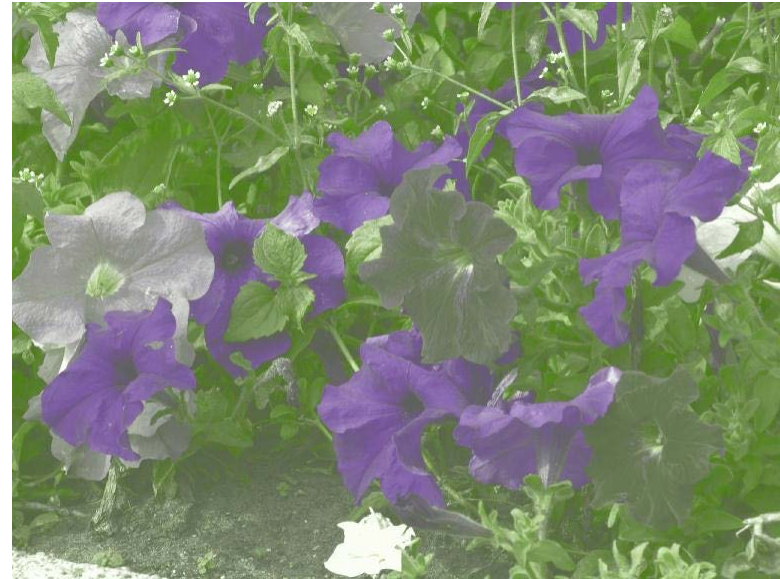
El centro de la fóvea contiene muy pocos conos sensibles al azul.



Normal



Protanope



Deuteranope

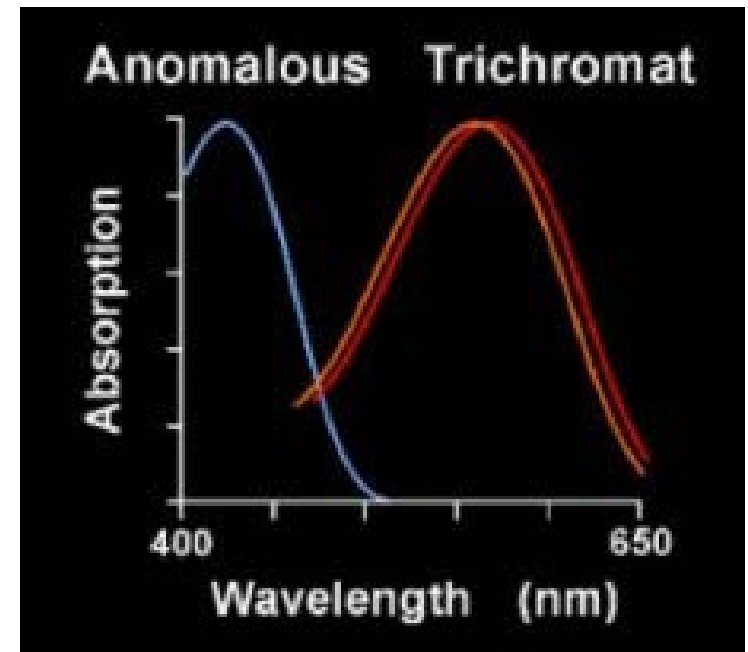


Tritanope



# Tricromacia anómala

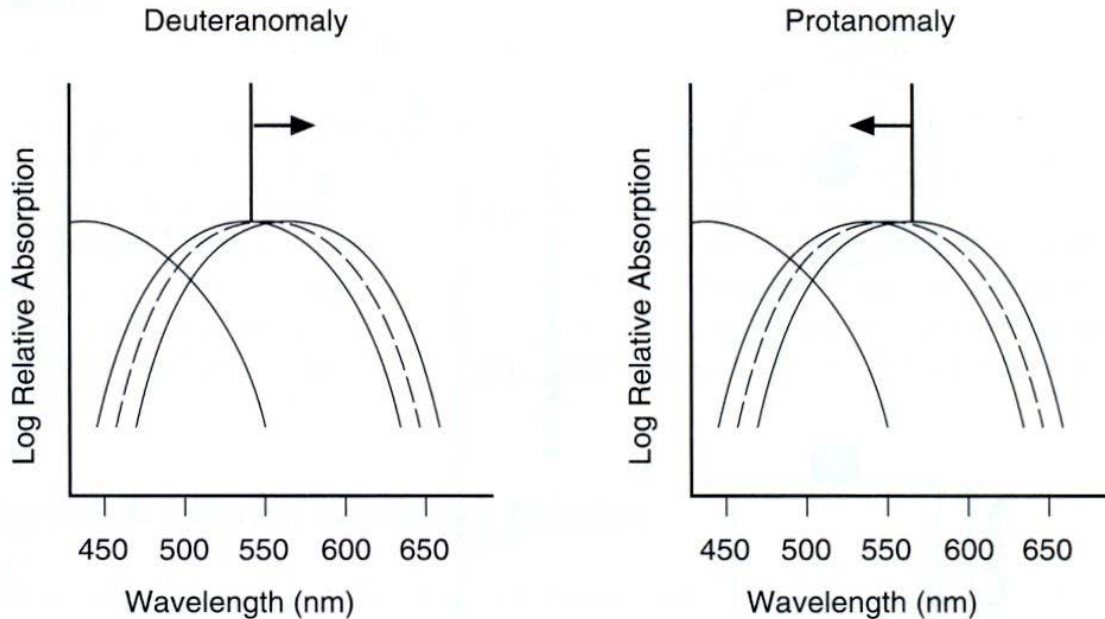
- Tres fotopigmentos presentes
- Pero el **espectro de absorción** de uno de los fotopigmentos está desplazado a una posición anormal



- Se requieren tres colores para igualar cualquier otro
- Ve una gama completa de colores, pero con una discriminación más pobre en algunas regiones

# Tricromacia anómala

**Espectros de absorción simplificados:** las curvas de línea continua muestran las posiciones normales de los espectros de absorción del cono.



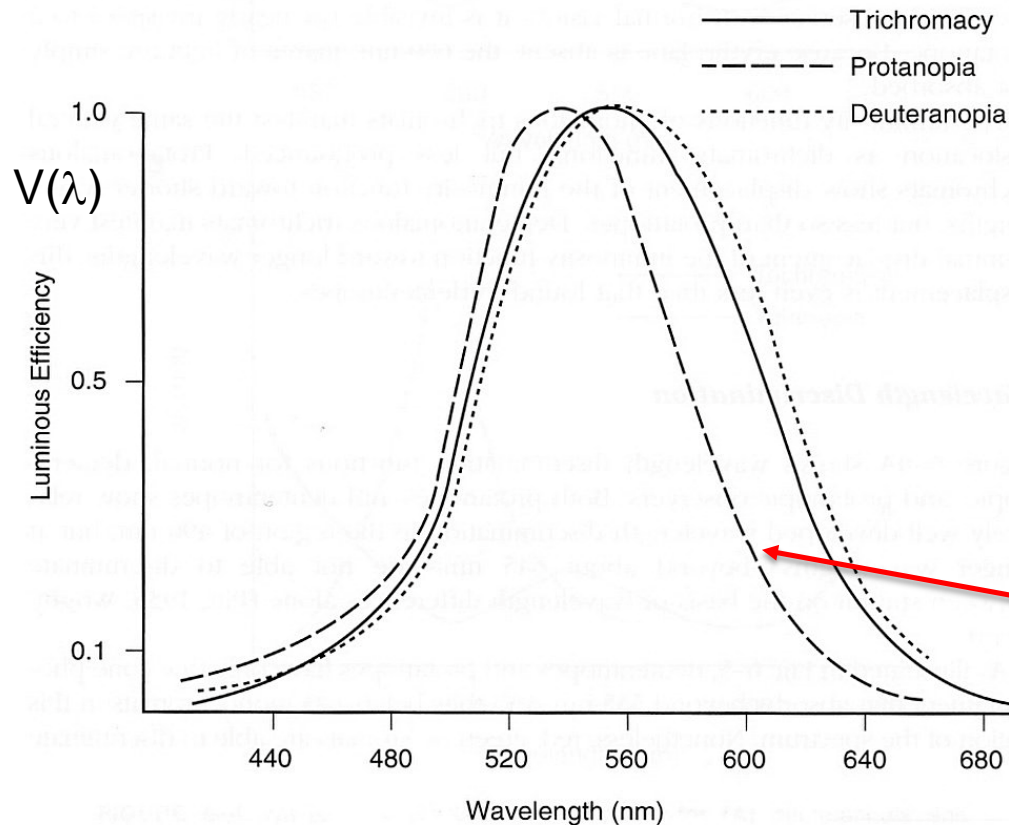
- ❑ **Deuteranómalo:** el espectro del clorolabe se desplaza hacia longitudes de onda más largas
- ❑ **Protanómalo:** el espectro del eritrolabe se desplaza hacia longitudes de onda más cortas

# Características que distinguen la visión anómala del color

- Sensibilidad luminosidad espectral
- Discriminación de tono
  - Líneas de confusión isocromáticas
- Discriminación de Saturación



# Sensibilidad luminosa espectral



La función de luminosidad resulta de la suma de las señales de los conos L y M

**L + 2M**

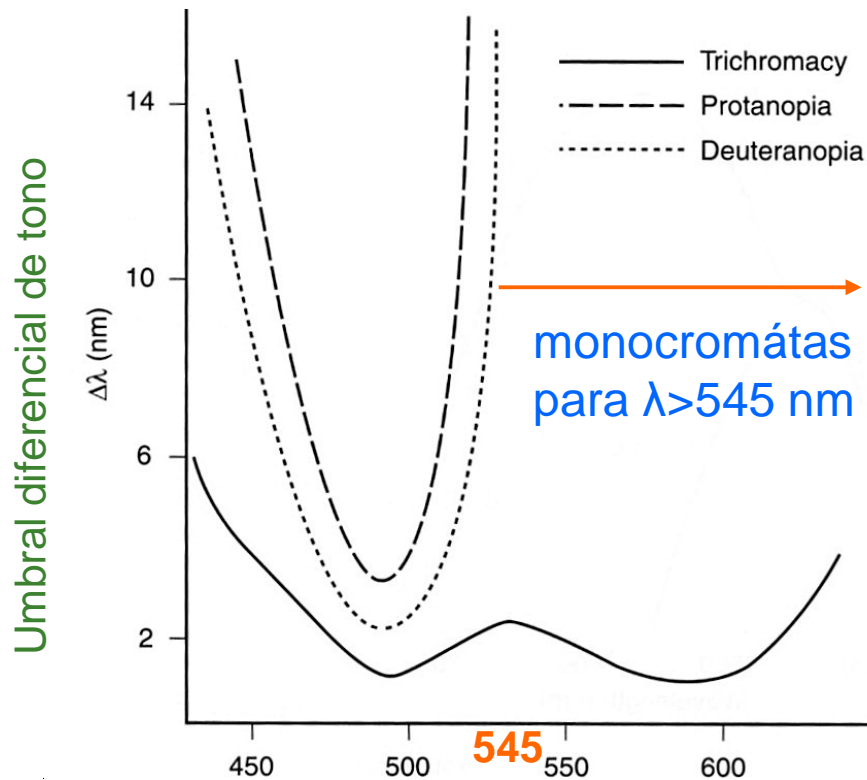
**En dicrómatas**, la ausencia de uno de estos conos produce un desplazamiento de la curva  $V(\lambda)$

**En protanopes hay más desplazamiento:** dificultad para ver ciertos objetos rojos. El rojo brillante se ve muy oscuro.

**Tricrómata anómalo:** desplazamiento de la función de luminosidad menos pronunciado

# Discriminación de tono en el espectro

## Dicrómatas



En **protanopes y deuteranopes** hay una discriminación de tono relativamente buena en la **región de 490 nm**.

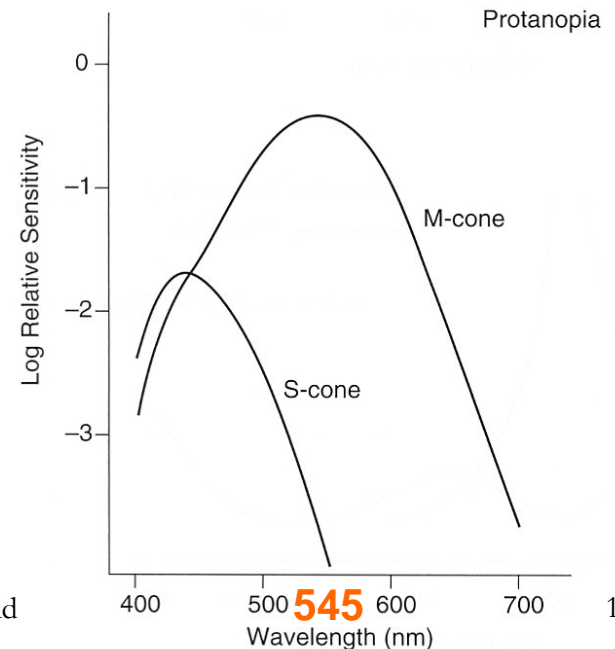
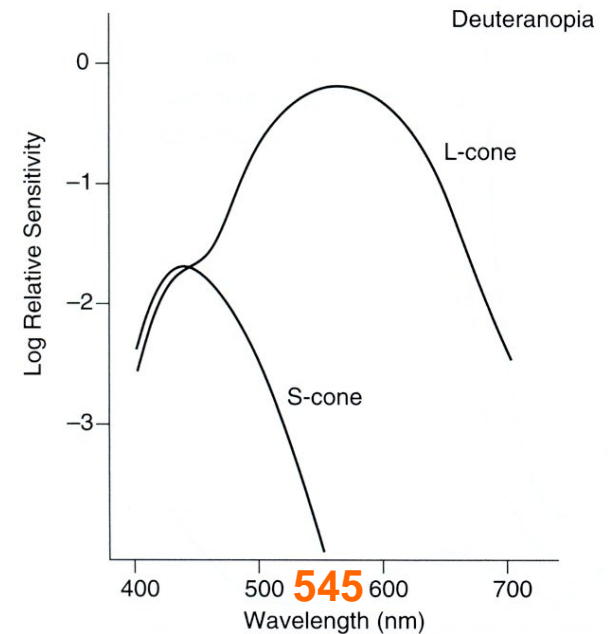
# Discriminación de tono

## Dicrómatas

Deuteranopes y protanopes tienen solo un fotopigmento que absorbe más allá de 545 nm.

Por tanto, hacen igualaciones de color monocromáticas para  $\lambda > 545$  nm

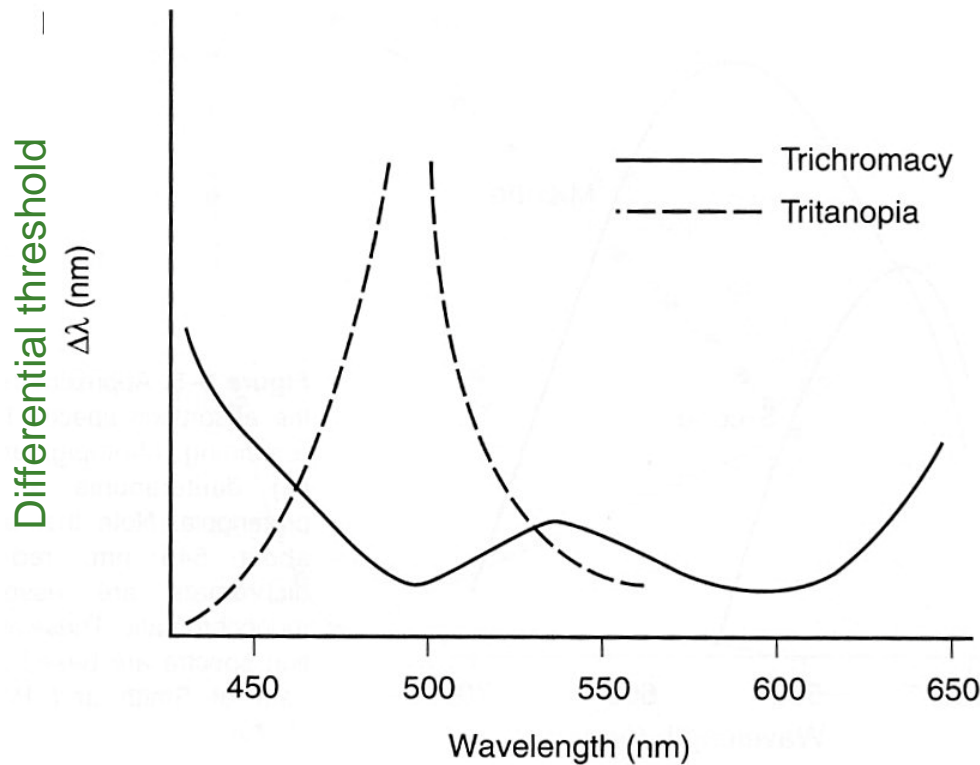
Son capaces de discriminar entre estímulos de más de 545 nm si estos estímulos difieren en la luminancia.





# Discriminación de tono

## Dicrómatas: tritanopia

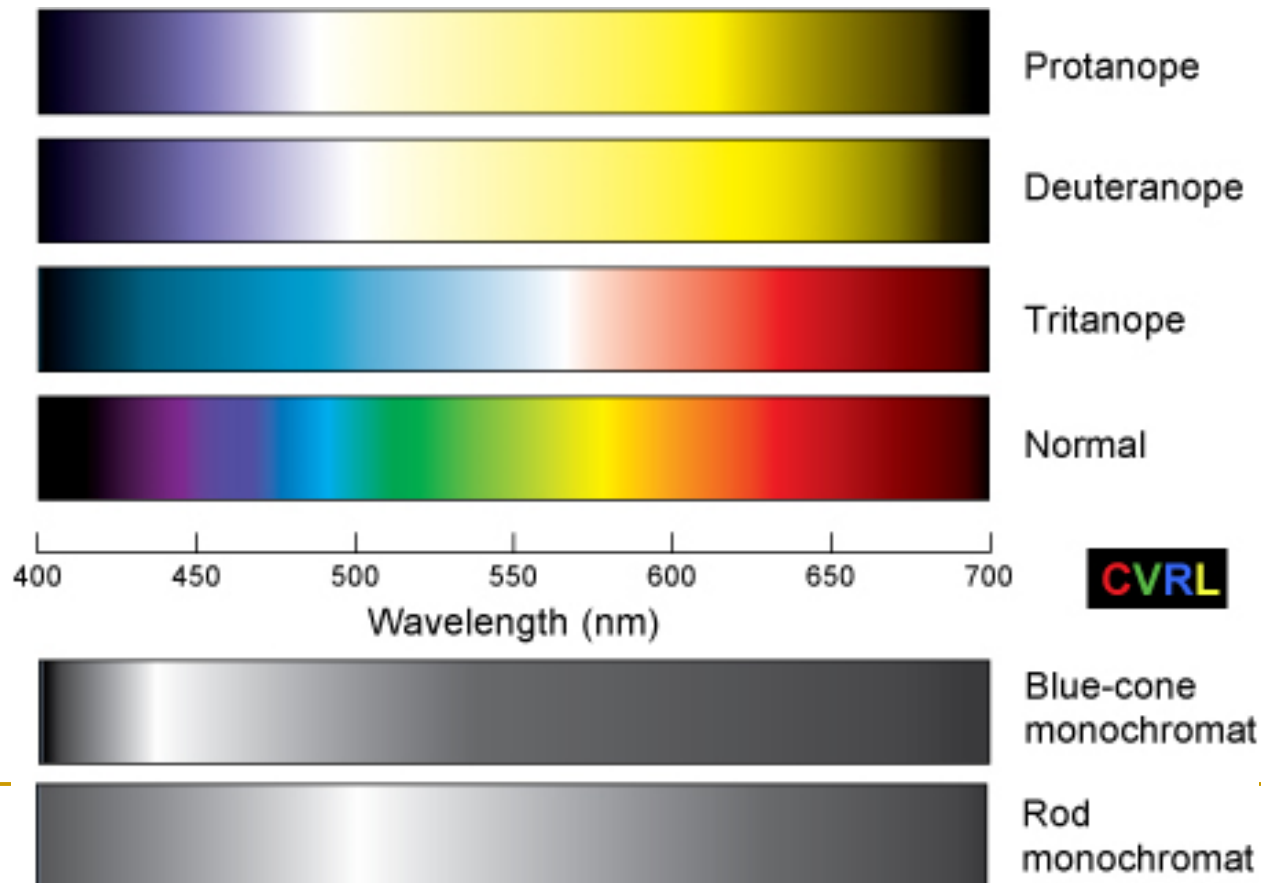


Discriminación de tono relativamente buena para **longitudes de onda largas**, pero discriminación deficiente en la región de 495 nm.

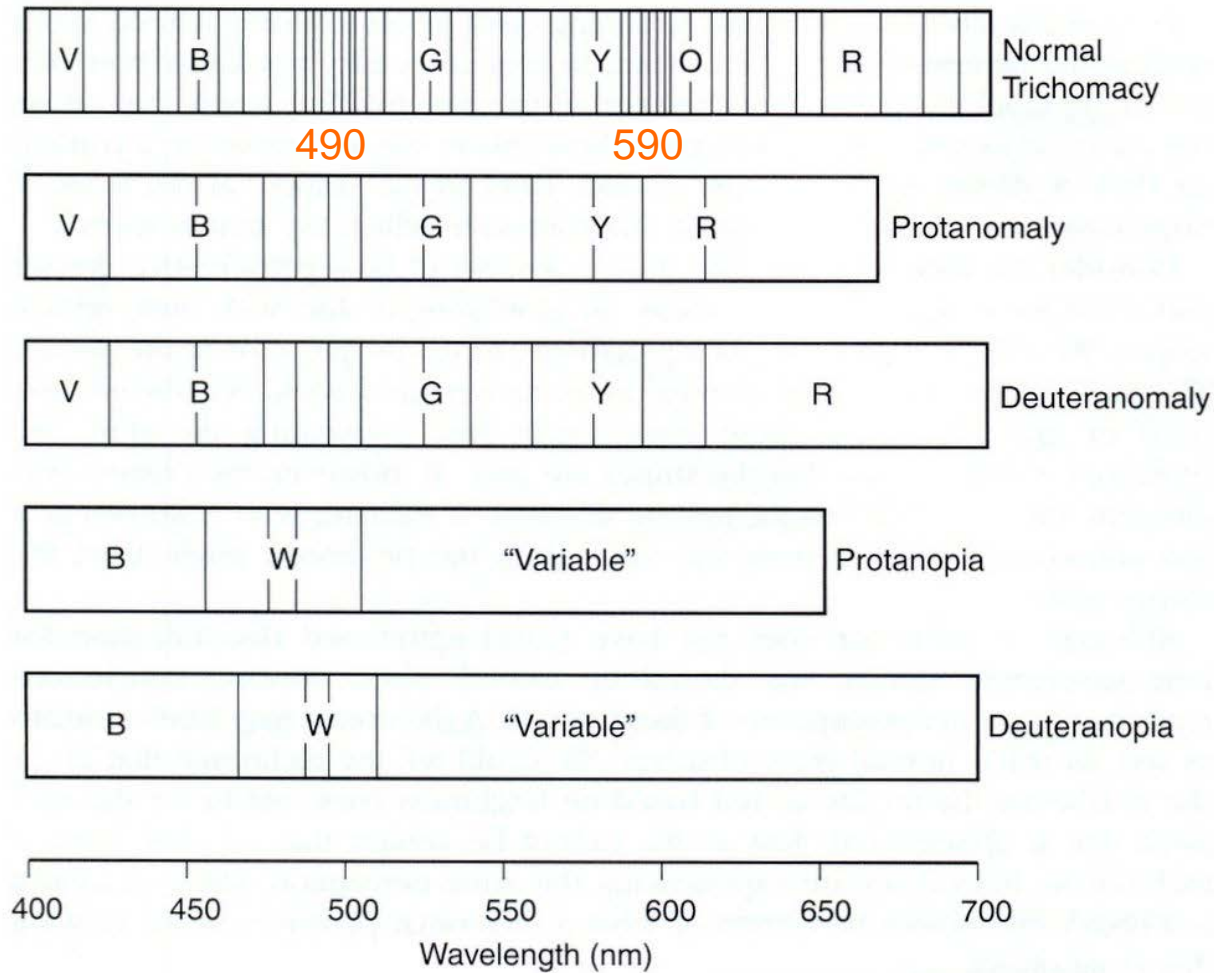
# Apariencia del espectro en la dicromacia

Los espectros para **protanopía y deuteranopía** se dividen en **regiones azules y amarillas** separadas por un **punto neutro blanco**.

En la **tritanopía**, el punto neutro separa las **regiones verde y roja**.



# Discriminación de tono



# Líneas de confusión isocromáticas

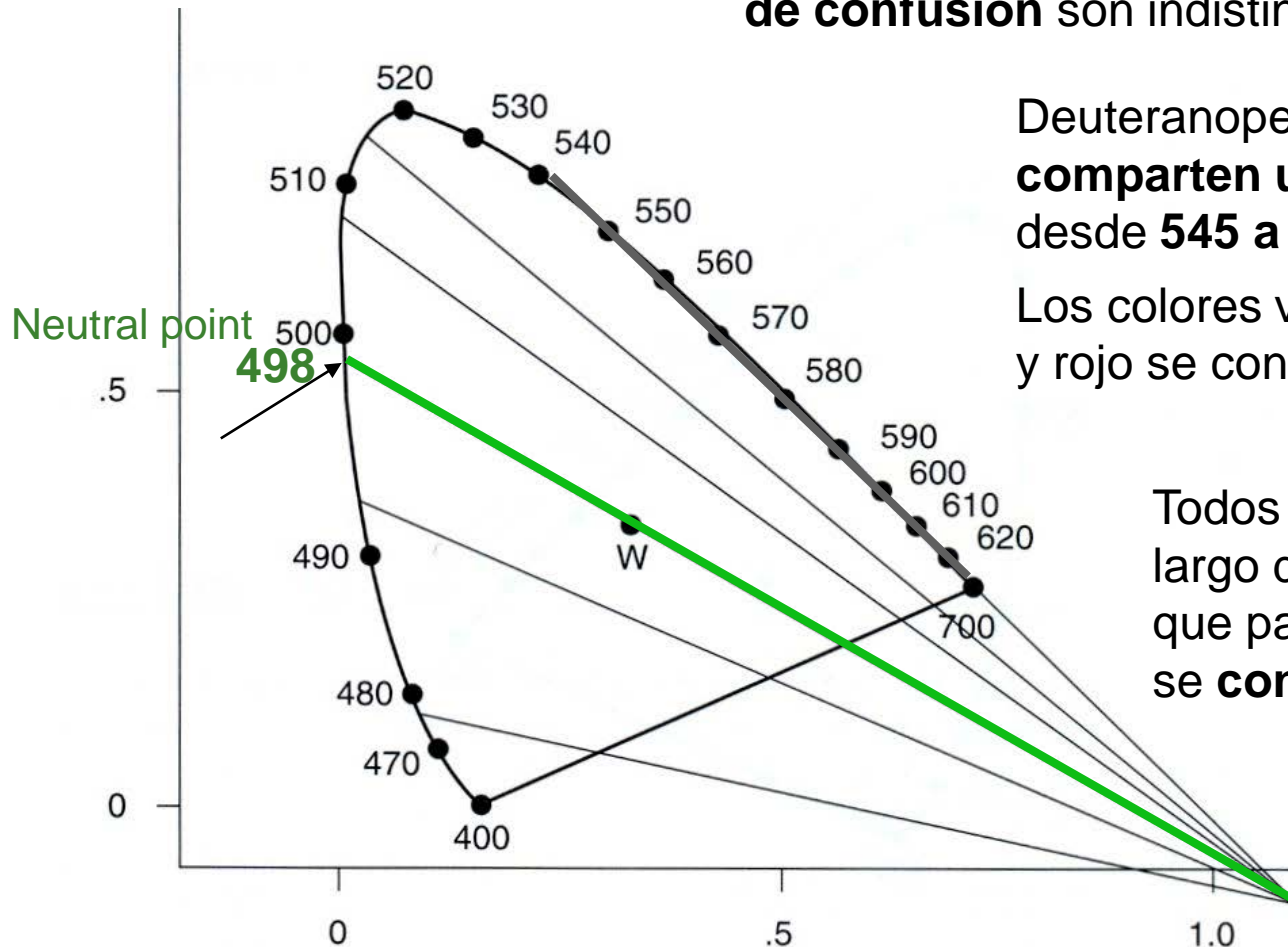
## Deuteranope

Todos los colores situados a lo largo de una **línea de confusión** son indistinguibles.

Deuteranopes y protanopes **comparten una línea de confusión** desde **545 a 700 nm**.

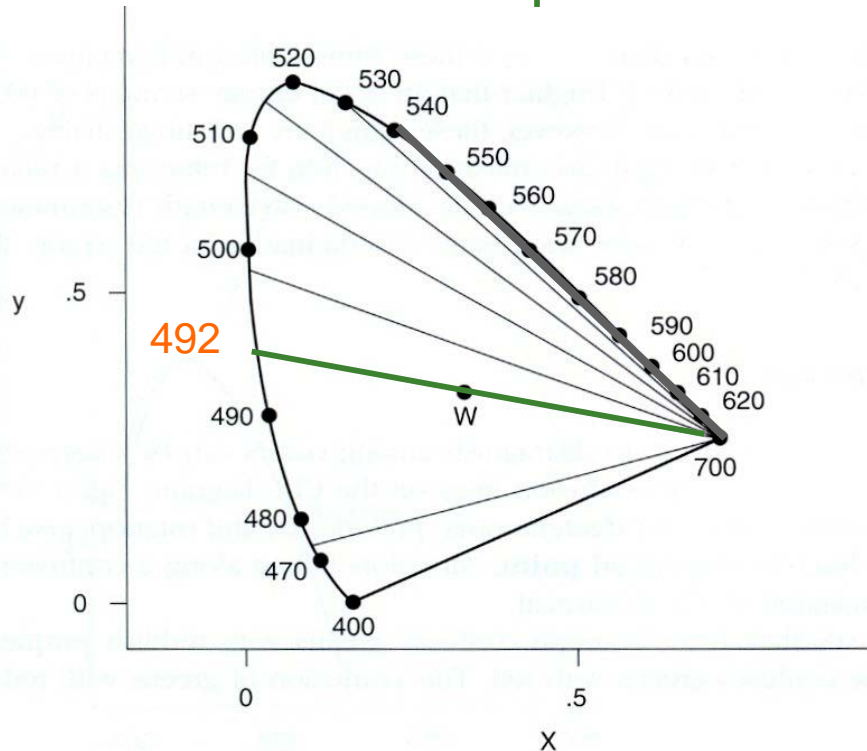
Los colores verde, amarillo, naranja y rojo se confunden entre sí.

Todos los colores que caen a lo largo de **la línea de confusión** que pasa a través del **blanco** se **confunden con el blanco**.



# Líneas de confusión isocromáticas

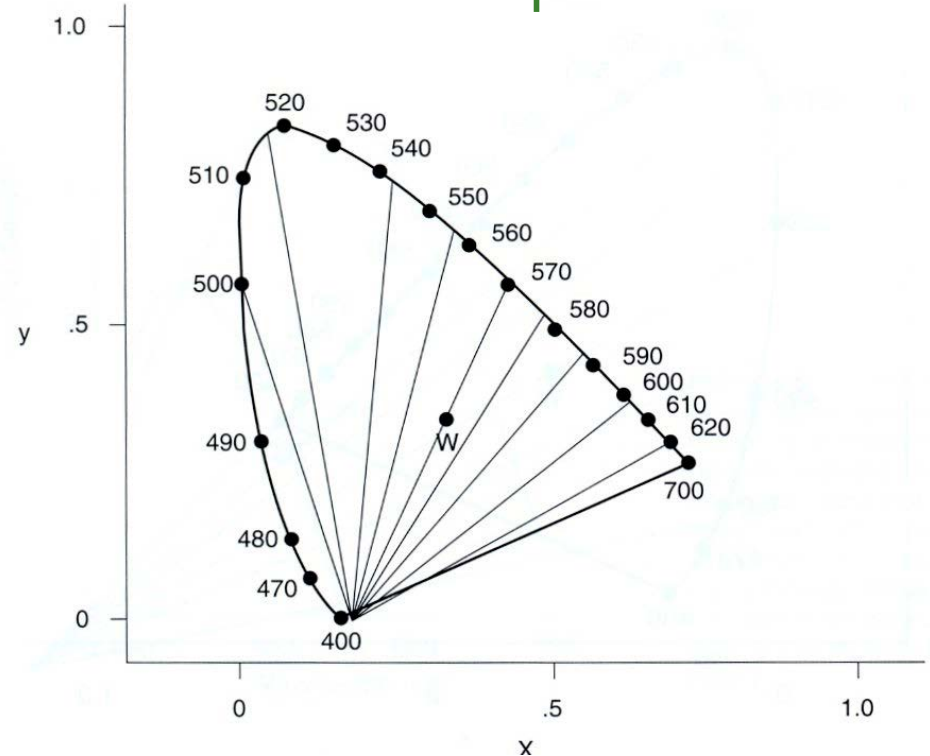
## Protanope



### Dicrómatas rojo-verde

línea de confusión común: confunden los estímulos que van desde 545 a 700 nm

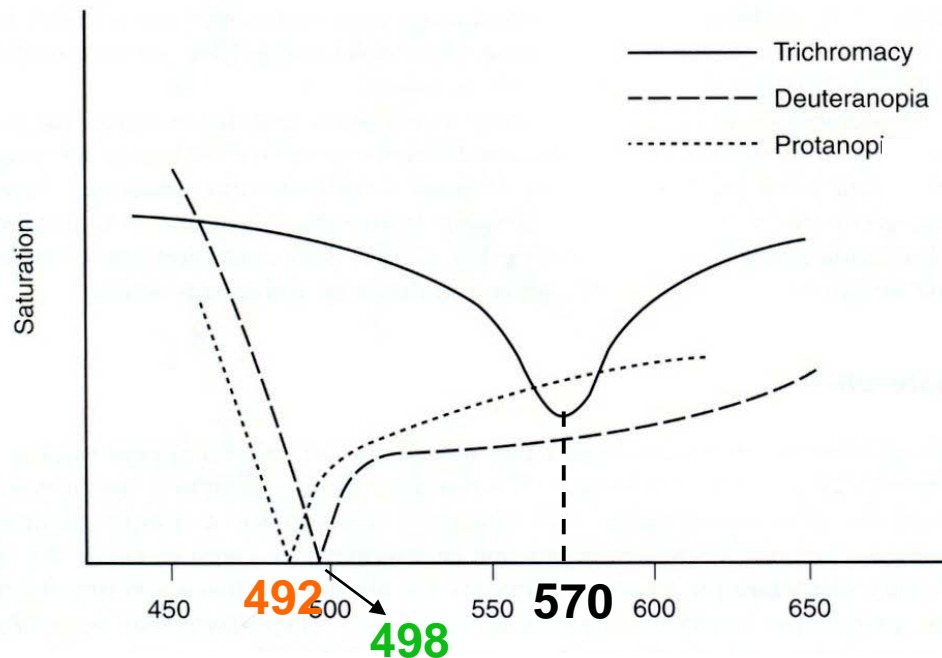
## Tritanope



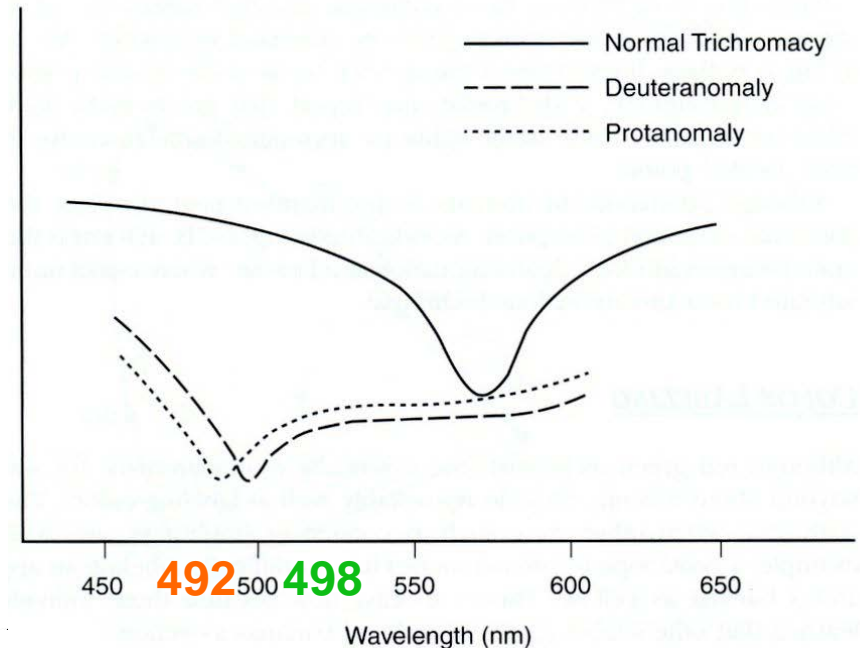
**Tritanope:** confusión entre azules-violetas y amarillos

# Discriminación de Saturación

## Dicromata



## Tricromata Anómalo



Las intersecciones con la abscisa a **498 y 492 nm** son **puntos neutros dicromáticos** o longitudes de onda que parecen blancas

# Distinciones entre anomalías hereditarias y adquiridas de la visión del color

Anomalías hereditarias	Anomalías adquiridas
Presente al nacer	Inicio después del nacimiento
Tipo y severidad del defecto igual a lo largo de la vida.	El tipo y severidad del defecto fluctúa.
El tipo de defecto se puede clasificar con precisión.	El tipo de defecto puede no ser fácil de clasificar. Los defectos combinados o inespecíficos ocurren con frecuencia.
Ambos ojos están igualmente afectados	Con frecuencia ocurren diferencias monoculares en el tipo y la gravedad del defecto.
No asociado con enfermedad o toxicidad.	Asociada a enfermedad ocular o sistémica y/o toxicidad.
Predominantemente protan o deutan	Predominantemente tritan
Mayor incidencia en varones.	Igual incidencia en varones y mujeres.

# Discromatopsias adquiridas

- Regla de Kollner

- Defectos visión del color azul-amarillo

- Enfermedades de la retina externa (fotorreceptores): DMAE y retinopatía diabética
    - Cambios en los medios oculares (catarata)

- Defectos rojo-verde.

- Retina interna (células ganglionares, nervio óptico)
    - Vías visuales hacia la corteza.



# Discromatopsias adquiridas

- La regla de Kollner no siempre es correcta
  - ❑ Glaucoma (enfermedad del nervio óptico): anomalía azul-amarilla
  - ❑ Pérdida no selectiva: anomalía azul-amarilla y rojo-verde simultáneamente.
  - ❑ Una anomalía azul-amarilla en las primeras etapas de una enfermedad ocular puede convertirse en una anomalía rojo-verde a medida que avanza la enfermedad.

# Cromatopsia

## ■ Distorsión del color

- ❑ Los pacientes dicen que los objetos tienen un tinte de color o halo

## ■ Cianopsia

- ❑ Percepción azulada de la escena visual después de la cirugía de cataratas
- ❑ Una catarata actúa como un filtro amarillo que absorbe luz azul
- ❑ La eliminación de la catarata expone la retina a más luz azul
- ❑ El sistema visual se adapta a la nueva distribución de energía radiante.

## ■ Xantopsia

- ❑ Predominio de amarillo en la escena visual
- ❑ Secundaria a diversos medicamentos (digital) y la fluoresceína utilizada en la angiografía

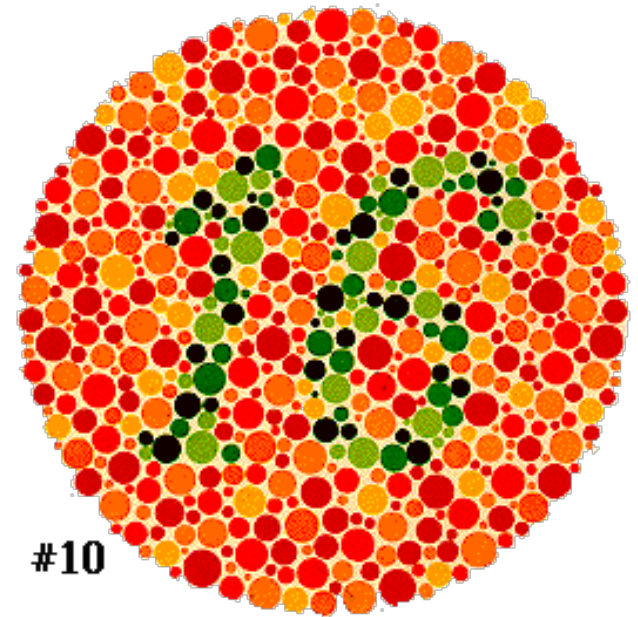
---

# Pruebas de visión del color

- Láminas pseudoisocromáticas
- Tests de Farnsworth
- Anomaloscopio de Nagel

# Láminas pseudoisocromáticas

- ❑ Consisten en una serie de láminas dispuestas en un libro.
- ❑ Una cifra debe distinguirse del fondo en base a de las diferencias cromáticas.
- ❑ Los colores (figura y fondo) caen en una línea de confusión dicromática común.
- ❑ La cifra puede no ser vista por pacientes con visión del color anómala.



Test de Ishihara

Solo detecta defectos Rojo-Verde

# Test Farnsworth-Munsell

## Prueba de ordenación



Panel D-15 desaturado



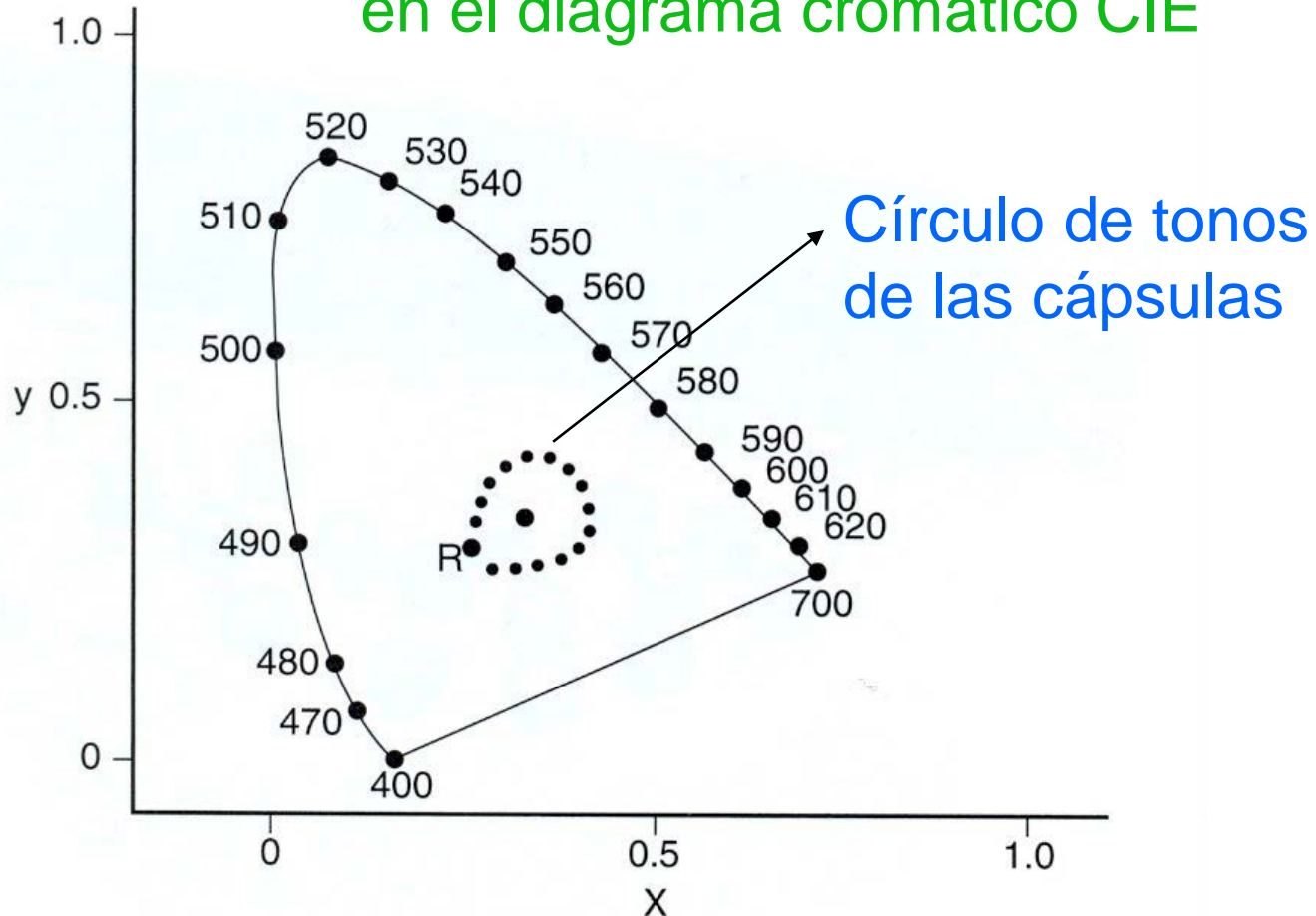
Test Farnsworth-Munsell D-28

Detección de defectos Rojo-Verde y Azul-Amarillo

No permite diferenciar dicrómatas de tricrómatas anómalos

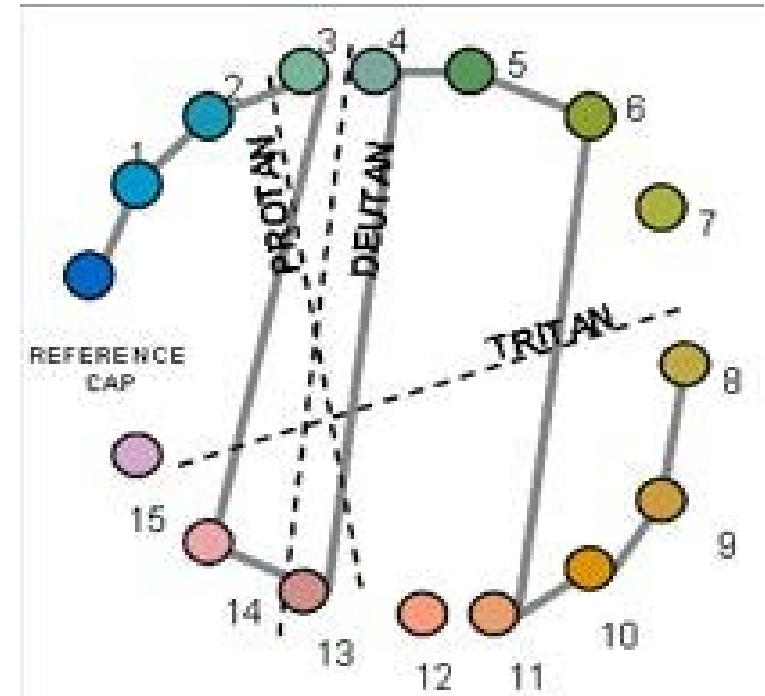
# Test Farnsworth-Munsell

Localización de los tonos del test D-15 en el diagrama cromático CIE

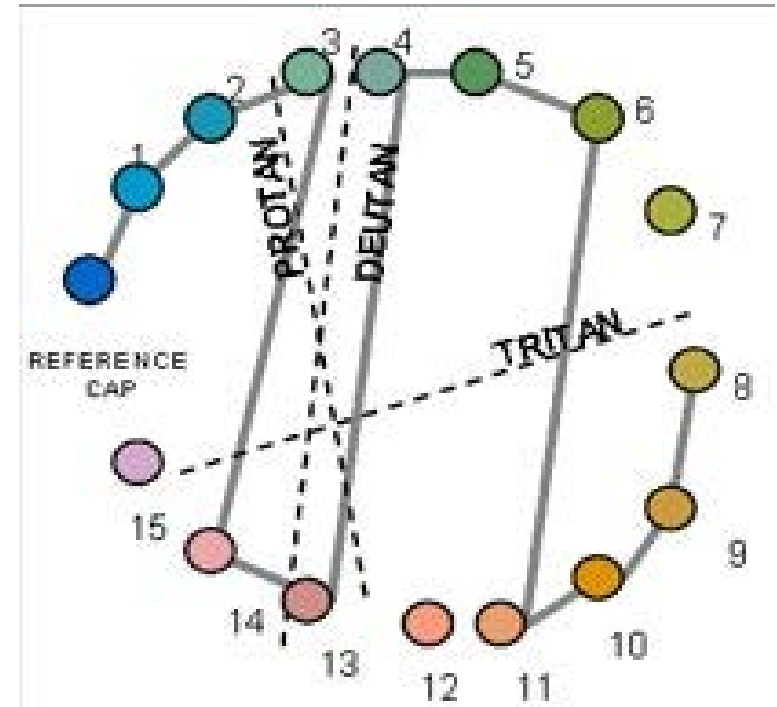


# Test Farnsworth

- Visión del color anómala
  - Los cruces en el círculo de tonos corresponden a líneas de confusión de colores.
  - El eje de los cruces se puede usar para determinar si la pérdida es de protán, deután o tritán.



# Test Farnsworth-Munsell



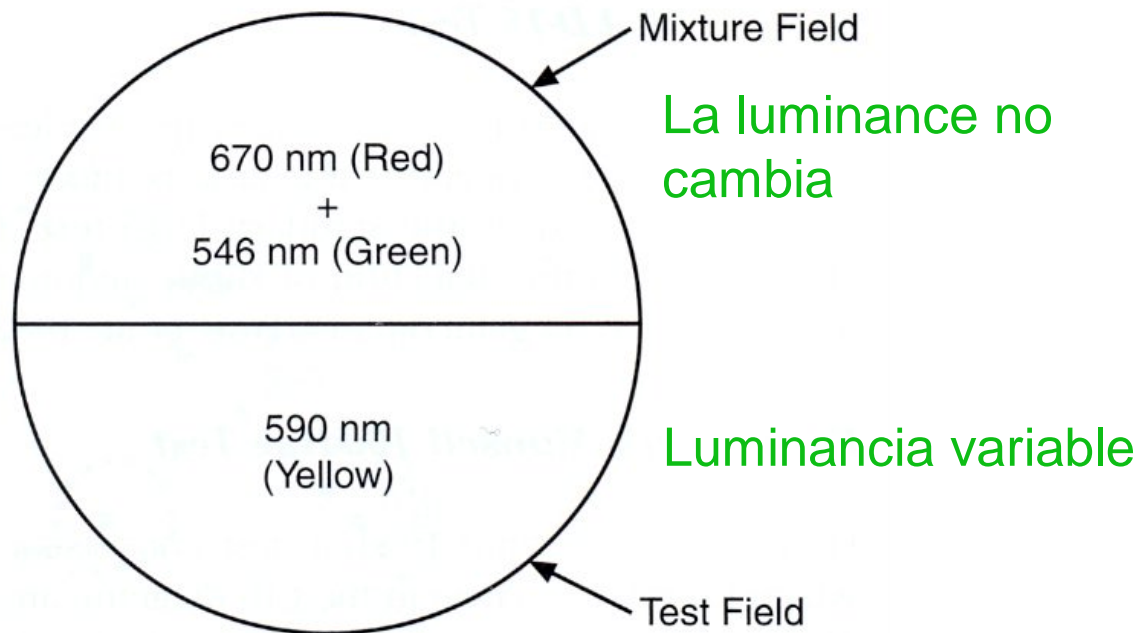
## Panel D-15 y 28 cápsulas

# Lanthony Desaturado Panel-15



# Anomaloscopio de Nagel

Proporciona un diagnóstico completo de las **anomalías de la visión del color Rojo-Verde**, incluido el diagnóstico diferencial entre dicromacia y tricromacia anómala.

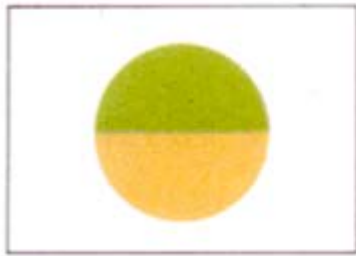


Ecuación de Rayleigh

Rojo (670 nm) + Verde (546 nm) = Amarillo (590 nm)

# Anomaloscopio de Nagel

Mezcla luces rojas y verdes para igualar con amarillo.



A



B



C

**A y B:** el sujeto mezcla las luces verde y roja en la parte superior (cantidades relativas de 546 y 670 nm) para igualar con la luz amarilla (590 nm) presentada en la parte inferior.

**C:** La mezcla rojo-verde igual perfectamente al amarillo.

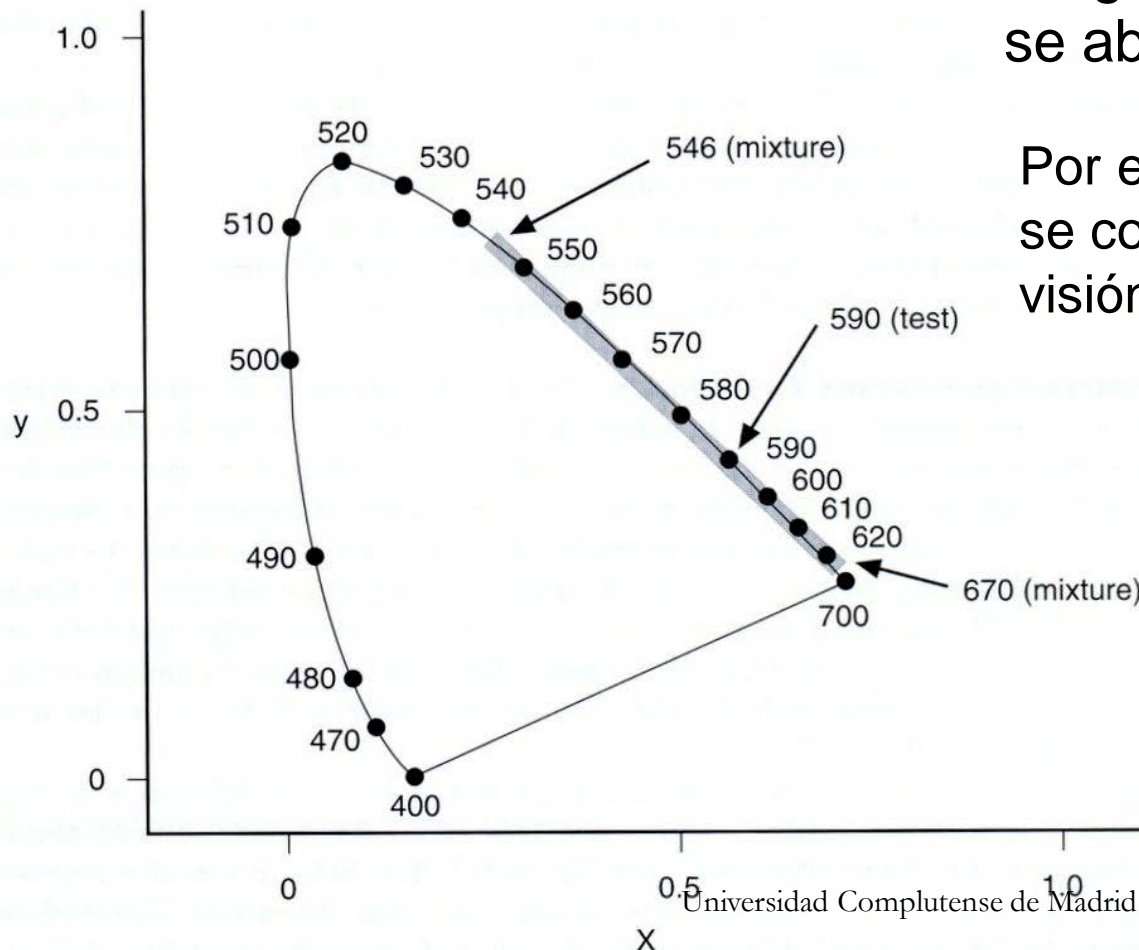
Vision tricromática normal

# Anomaloscopia de Nagel

Los **tres colores primarios** del anomaloscopia están situados en la **línea de confusión común deutan y protan**

Ninguno de estos primarios se absorbe por los **conos S**

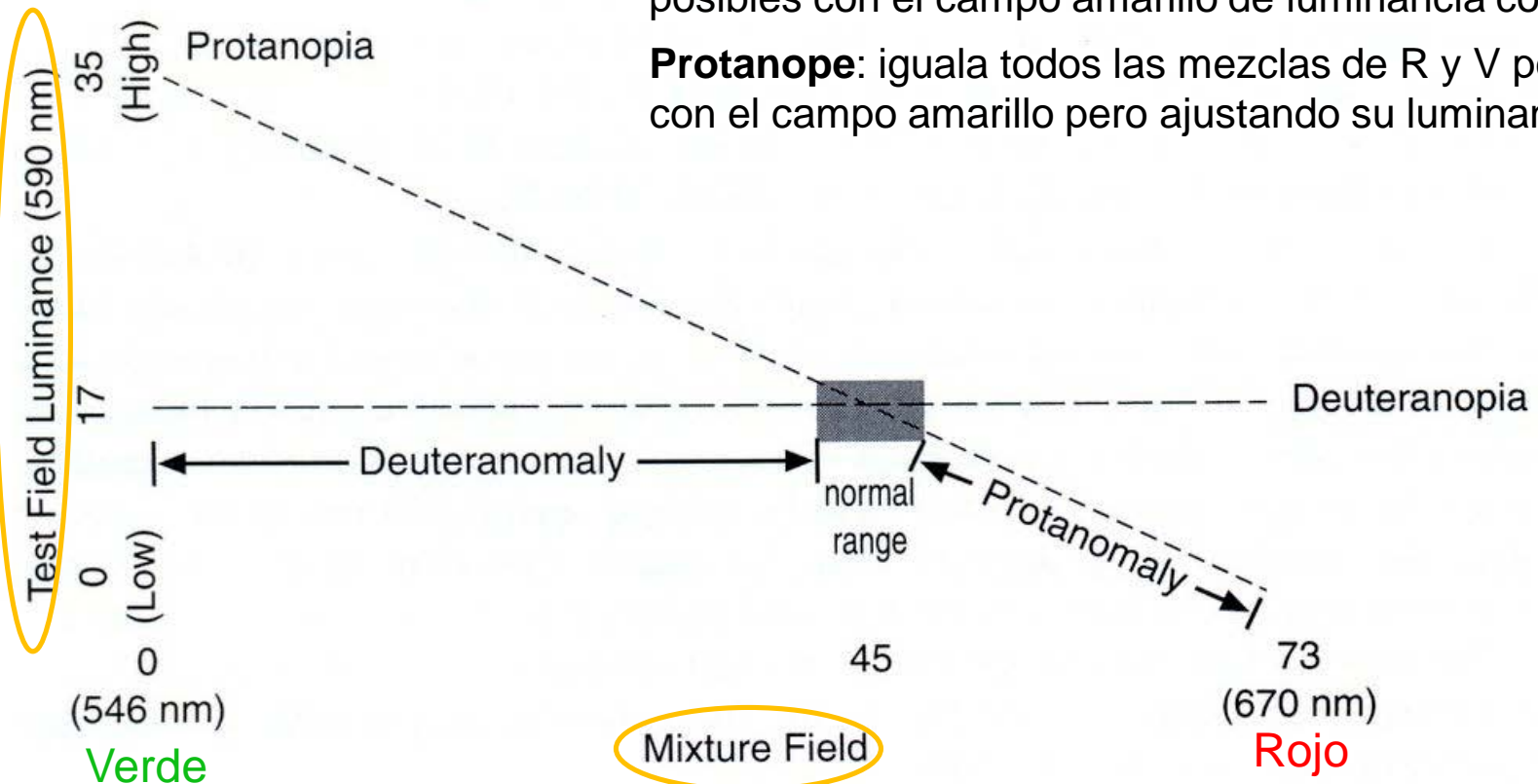
Por ello, un tricrómata normal se comporta como si tuviera visión dicromática.



# Anomaloscopia de Nagel

**Deuteranope:** iguala todos las mezclas de R y V posibles con el campo amarillo de luminancia constante.

**Protanope:** iguala todos las mezclas de R y V posibles con el campo amarillo pero ajustando su luminancia.

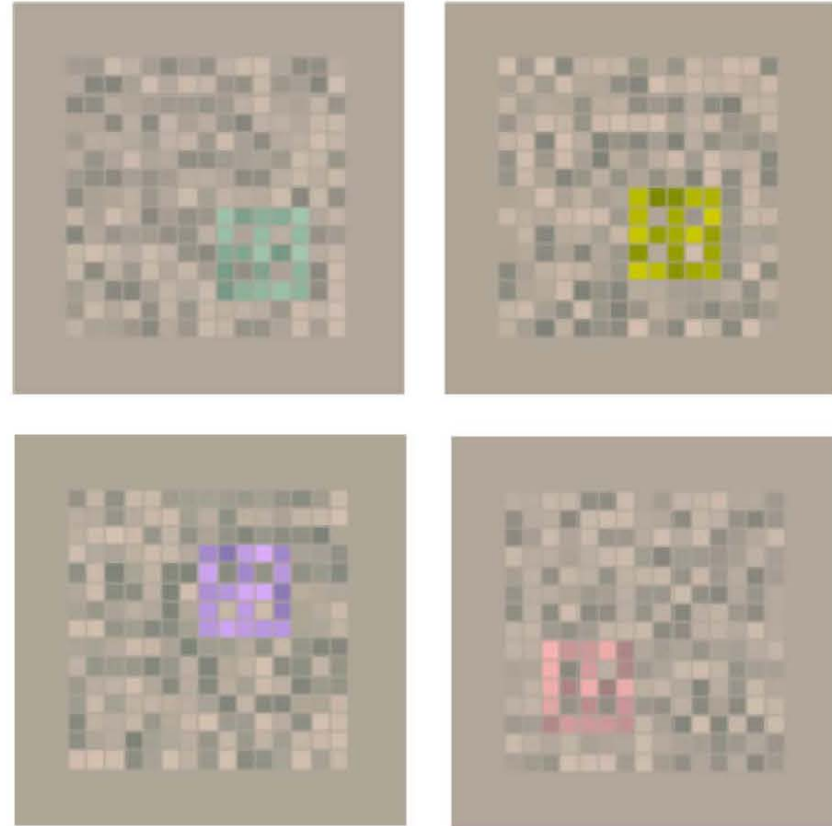
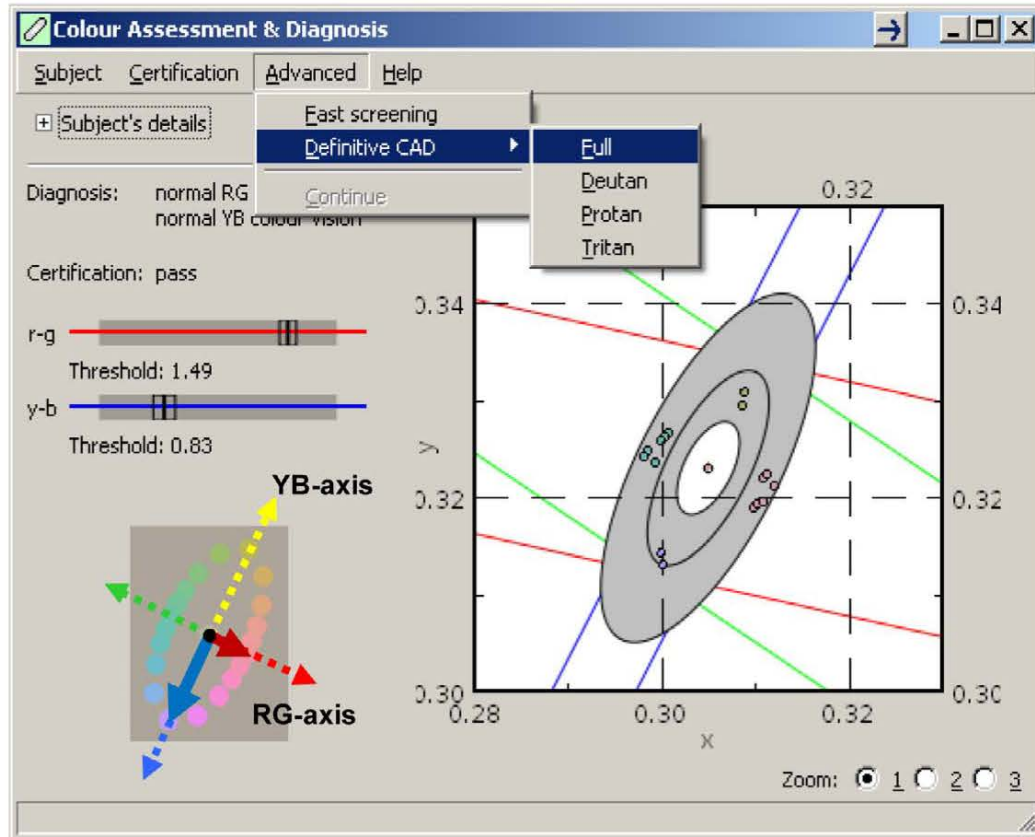


**Deuteranómalo:** añade más cantidad de 546 nm

**Protanómalo:** añade más 670 nm y reduce la luminancia del campo amarillo

# Test CAD (Color Assessment and Diagnosis)

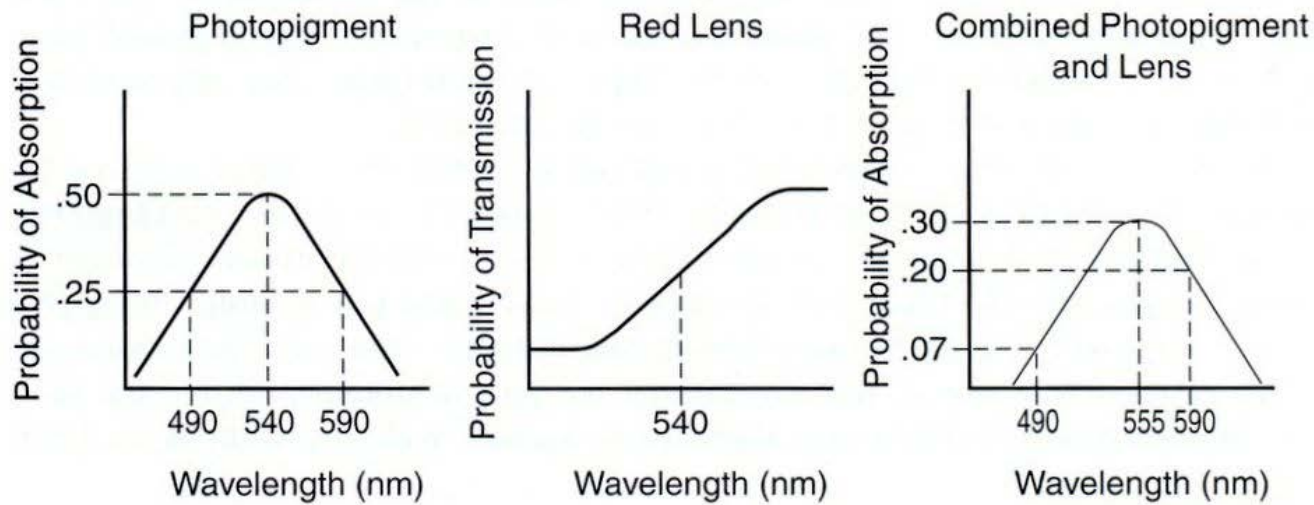
Medida de umbrales de color Rojo-Verde y Azul-Amarillo



[https://www.city.ac.uk/\\_\\_data/assets/video\\_file/0004/445873/AVOTvideo.avi](https://www.city.ac.uk/__data/assets/video_file/0004/445873/AVOTvideo.avi)

# Lente X-chrom y filtros Coloreados

Lente X-chrom: LC roja para llevar en un solo ojo y que cambie el espectro de absorción.



	490	590
Quanta Emitted	1000	1000
Quanta Absorbed	250	250

	490	590
Quanta Emitted	1000	1000
Quanta Absorbed	70	200



**Gracias**